

Минералообразование в термальных источниках Нижне-Кошелевского месторождения (Камчатка)

Шанина В.В., Бычков А.Ю.¹

¹ МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, viosha@mail.ru

Кошелевский вулканический массив расположен на юге полуострова Камчатка и состоит из пяти сросшихся, полуразрушенных стратовулканов, вытянувшихся в широтном направлении. Развитие вулканического массива продолжалось от среднего плейстоцена до голоцена. Нижне-Кошелевское термальное поле расположено на отметке 750-800 м на склоне древнечетвертичного Западно-Кошелевского вулкана, от которого сохранилась часть соммы (или уступа кальдеры) (Апрелков и др., 2001; Белоусов, 1978). Нижняя пачка толщи мощностью до 150 м – преимущественно переслаивание лав оливин-двупироксеновых андези-базальтов и долерито-базальтов, реже - оливин-клинопироксеновых базальтов и линз агглютинатов. Верхняя пачка – короткие потоки общей мощностью до 120 м андези-дацитов и дацитов. Современные лавы и шлаки оливиновых базальтов мощностью до 120 м, формируют отчетливый конус с отметкой 486 м (Поздеев, Нажалова, 2008).

Степень гидротермального изменения пород, вскрытых скважинами, постепенно нарастает сверху вниз в последовательном появлении вторичных минералов: гидроокислы железа → глинистые минералы → иддингсит-хлорит-цеолит-кварц + пирит- → эпидот + альбитпренит. В центральной части Нижне-Кошелевского участка в замещении решающую роль играют глинистые минералы, кварц, ангидрит, гидрослюда, цеолиты. В скважинах полностью измененные породы появляются на глубине 200 м. Эти изменения относятся к диагенетическим, т.е. отражают поверхностные фации регионального метаморфизма пород района (Поздеев, Нажалова, 2008).

Выходы Нижне-Кошелевских парогидротерм сосредоточены на площади 100х300м в эрозионной котловине. На территории термального поля представлены различные термопроявления: газовые струи, грязевые котлы, кипящие озера, крупные пульсирующие водные источники с гейзерным режимом, мелкие разгрузки термальных вод. Общая минерализация вод в среднем составляет 0,3-0,7 г/л, за исключением грязевых котлов (2-3 г/л, за счет более высоких концентраций SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+) (Калачева и др., 2006). На территории термального поля под действием субнейтральных вод гидрокарбонатного состава (pH 6-8, T~95°C) андезиты постепенно преобразуются в монтмориллонитовые глины (Лучко и др., 2009).

Исследование минералообразования в термальных источниках Нижне-Кошелевского поля проводилось следующим образом: 1) полевое изучение гидротермальных проявлений на термальном поле (температурная съемка, геохимическое опробование), отбор проб термальных вод, донных осадков и образцов неизмененных горных пород; 2) лабораторное изучение химического и минерального состава, строения и свойств пород, определение химического состава термальных вод и донных осадков; 3) проведение натурных исследований, направленных на изучение процессов минералообразования в естественных проявлениях термальных вод за год.

В местах заложения образцов (прямоугольные параллелепипеды со сторонами от 2 до 5 см) андезитов и базальтов, изученного состава и свойств, с помощью портативного мультипараметрового анализатора WATER TEST определялись физико-химические параметры растворов: температура, pH, Eh, минерализация. Для определения минерализации вод использовали электрокондуктивность – SEC (specific electrical conductivity), которая замеряется инструментально in situ. С помощью коэффициента (0,55-0,76) SEC переводится в минерализацию – TDS (total dissolved solid) (Чудаев, 2002). Минеральный состав исследуемых

вулканогенных пород определялся в шлифах при помощи поляризационного микроскопа Olympus BX 41. В лаборатории рентгеноструктурного анализа кафедры инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова В.В. Крупской, Л.А. Левицкой и С.В. Закусиным был проведен количественный рентгеноструктурный анализ полученных минеральных новообразований на дифрактометрах «Дрон-УМ1», «Дрон3» и «ULTIMA-IV». Под руководством профессора В.Н. Соколова совместно с научным сотрудником М.С. Черновым проведены исследования морфологии порового пространства, а также точечные химические анализы минералов с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1450 VP и микроскопа «Jeol JSM-6480LV» на кафедре петрологии (в лаборатории локальных методов исследования вещества) доцентом В.О. Япаскуртом. Состав рудных минералов уточнялся с помощью исследования магнитных свойств образцов (ступенчатое температурное размагничивание до температур 540-700 °С (полного размагничивания образца)) в петромагнитной лаборатории геологического факультета МГУ Р.В. Веселовским. Химический состав донных осадков изучен на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ на рентгеновском кристалл-дифракционном вакуумном спектрометре «Спектроскан Макс GV» под руководством доцента Е.Н. Самарина. Для оценки изменения химического состава пород при гидротермальных преобразованиях был использован метод расчета баланса вещества метасоматических горных пород с учетом их пористости (Казицын, 1972; Казицын, Рудник, 1968).

На Нижне-Кошелевском термальном поле было отобрано 18 проб термальных вод. В ряду сидерофильных элементов в водах месторождения наибольшие концентрации имеет железо, достигая максимальных значений (33,9 мг/л) в водно-грязевом котле (точка НК-13) и фосфор (2,6 мг/л) в пиритовом котле Сухой воронки (точка НК-3). Никель в половине проб ниже предела обнаружения, максимальное содержание 2,39 мкг/л в пиритовом котле на Верхнем участке (точка НК-5). Из литофильных элементов наибольшими содержаниями отличаются кальций, магний и марганец, достигая (0,18, 0,03 и 0,005 г/л соответственно) в пиритовом котле, а так же кремний до 0,065 г/л в небольшом водно-грязевом котле (точка НК-13). Среди халькофильных элементов повышенные содержания характерны для цинка (164 мкг/л в небольшом котле на склоне Сухой воронки (точка НК-11)), мышьяка и селена (3,9 и 0,4 мкг/л соответственно), максимальные содержания которых также наблюдаются в точке НК3. Изученные донные осадки на территории Нижне-Кошелевского поля характеризуются высоким содержанием кремния (при этом и в осадке и в растворе его максимальное содержание в пробе из кипящего водно-грязевого котла НК-13, а минимальное – в Термальном озере (точка НК-14)), алюминия и железа (табл.). Содержание оксида титана в большинстве точек укладывается в диапазон для изученных пород, его минимальное количество в пробах осадка и раствора из точки НК-17 (ручей Гремучий на окраине поля).

В самых агрессивных по кислотно-щелочным условиям кипящих котлах в изученных образцах пород наблюдаются следы сернокислотного выщелачивания, даже в плотных андезитах. В кислых условиях идет растворение вулканического стекла и образование мелкодисперсного пирита. В самых спокойных на данном термальном поле условиях со слабокислыми и нейтральными водами образуются минералы группы смешаннослойных с преобладанием монтмориллонита, в нейтральных условиях образуется корочка, сложенная из глобул кремнезема. Так же характерной особенностью самых спокойных условий является наличие псевдоморфоз пирита по диатомовым водорослям (Bacillariophyta) с кремниевым скелетом (рис. 2). На новое направление в разработке проблемы низкотемпературной гидротермальной минерализации, связанное с обнаружением в толще миоценовых платобазальтов фоссилизированных фрагментов микробиоты – возможных активных агентов формирования слоистых силикатов и ряда других минералов, указывал в своей докторской диссертации А.Р. Гептнер (Гептнер, 2009). В пределах термальных площадок, на которых обильно развиваются альгобактериальные биоценозы (маты), отмирающие термофильные микроорганизмы фоссилизируются, как правило, с участием кремнезема, а вулканическое стекло и силикаты в разной степени смектитизируются, цеолитизируются, а местами образуются

смешанослойные каолинитсметитовые минералы (Труды геологического института, 2007), альгобактериальные образования в процессе фоссилизации концентрируют рудные компоненты.

Таблица. Химический состав донных осадков термальных источников Нижне-Кошелевского

Проба	ПОЛЯ											
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO(t)	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	As	Hg
	%										ppm	
НК-1	57,85	0,91	18,08	10,55	0,08	2,08	3,64	1,55	0,22	0,07	НО	0,07
НК-2	58,30	1,02	18,79	10,42	0,08	1,38	3,20	1,31	0,16	0,06	НО	НО
НК-3	62,36	1,11	19,44	8,59	0,05	0,95	2,64	1,31	0,16	0,07	0,15	0,19
НК-6	68,17	0,86	15,06	5,70	0,06	0,91	1,97	1,39	0,12	0,06	0,23	НО
НК-10	58,56	1,13	19,82	11,22	0,05	0,87	3,25	1,55	0,18	0,09	НО	0,11
НК-13	70,83	1,26	17,24	6,04	0,03	0,03	1,59	1,19	0,15	0,12	0,14	0,12
НК-14	33,26	1,44	21,98	18,54	0,11	2,34	5,52	1,42	0,27	0,08	НО	0,17
НК-17	59,31	0,78	18,18	9,96	0,10	3,45	4,17	1,27	0,13	0,06	НО	0,02
НК-18	42,26	1,80	19,41	15,23	0,21	9,09	8,21	1,45	0,29	0,05	1,38	0,10

Примечание: FeO(t) – общее содержание оксидов железа, но - ниже предела обнаружения За год в открытом поровом пространстве изученных андезитов и базальтов, находившихся в термальных источниках, произошло образование барита, марказита и пирита (рис. 1). Большинство рудных минералов – аутигенные образования, возникшие *in situ* в результате гидротермального разрушения первичных минералов, содержащих рудные компоненты. Данному процессу способствовало увеличение открытой пористости пород (в пористых базальтах до 46%); поэтому и новообразованных минералов в них оказалось максимальное количество.

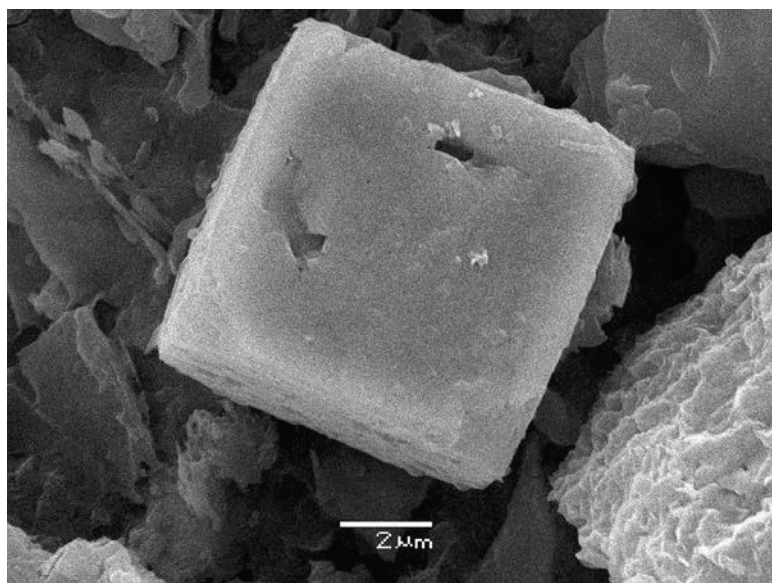


Рисунок 1. Новообразованный пирит (автор фото В.О. Япаскурт).

Из слабокислых растворов в восстановительных условиях кристаллизуются сульфиды железа - пирит и марказит, которые наряду с глинистыми минералами покрывают всю открытую поверхность пород и существенно увеличивают плотность твердой компоненты грунтов. Необходимо отметить, что прочность базальтов увеличилась на 38 % из-за образования дополнительных контактов за счет активного минералообразования в открытом поровом пространстве пород и кристаллизации пирита и марказита

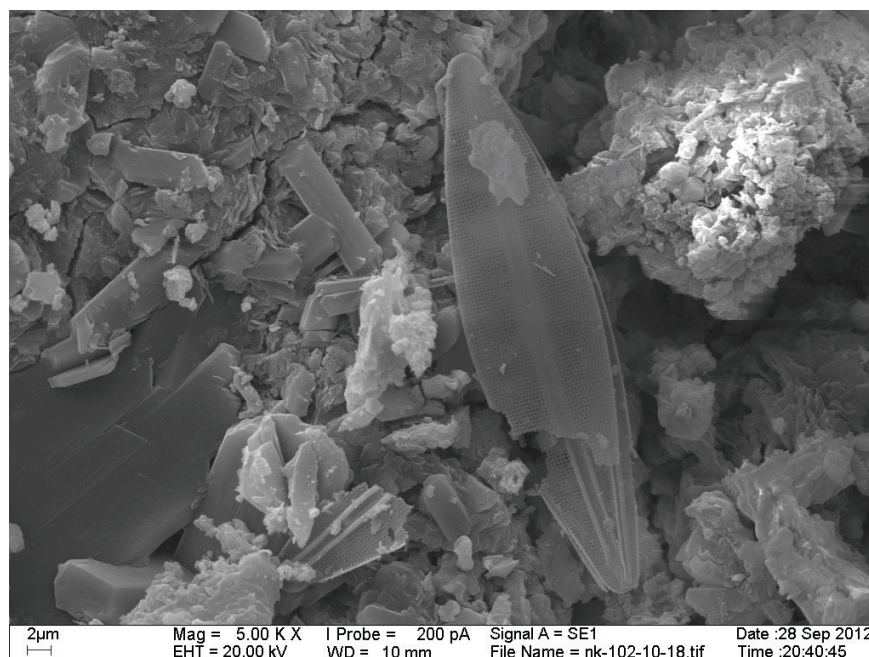


Рисунок 2. Псевдоморфозы пирита по кремниевому скелету *Navicula* (автор фото М.С. Чернов).

- Апрелков С.Е., Попруженко С.В., Богдан П.С., Касьянюк Е.Е. Структуры фундамента и локализация вулканизма Южной Камчатки / Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. 428 с.
- Белоусов В. И. Геология геотермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 176 с.
- Гептнер А. Р. Вулканогенно-осадочный литогенез в наземной рифтовой зоне Исландии. Автореф. дис. на соискание уч. степени доктора геол.-мин. наук. М. 2009. 31 с.
- Казицын Ю.В. Метасоматизм гидротермальных месторождений (введение в учение об околорудном метасоматизме). Л.: Недра, 1972. 144 с.
- Казицын Ю.В., Рудник В.А. Руководство к расчету баланса вещества и внутренней энергии при формировании метасоматических пород. М.: Недра, 1968. 364 с.
- Калачева Е.Г., Королева Г.П., Сандиминова Е.И., Шульга О.В. Условия формирования и геохимические особенности Нижне-Кошелевских гидротерм (Южная Камчатка) / Вулканизм и геодинамика. Материалы III Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Улан-Удэ. 2006. Т. 3. С. 717-719.
- Лучко М.В., Зухубая Д.З., Фролова Ю.В. Петрофизические преобразования андезитов на Кошелевских термальных полях (Южная Камчатка) / Матер. X междунар. конф. «Физикохимические и петрофизические исследования в науках о Земле». М.: Ин-т физики Земли, 2009. С. 250-254.
- Поздеев А.И., Нажалова И.Н. Геология, гидродинамика и нефтегазоносность Кошелевского месторождения парогидротерм, Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2008. № 3. С. 3245.
- Труды геологического института. Вып. 566: Постэруптивные процессы современного вулканизма Камчатки: БТТИ, КВЦ, Вулкано-гидротермальная система Узон, океанические и континентальные современные и палеотипные рудопоявления / Ерощев-Шак В.А., Золотарев Б.П., Карпов Г.А., Набоко С.И., Артамонов А.В. М.: Наука. 2007. 183 с.
- Чудаев О.В. Геохимия и условия формирования современных гидротерм зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. Томск. 2002. 59 с.